

生态安全导向下国土空间生态修复技术模式创新与价值实现路径研究

赵美文

四川琴创国空规划设计有限公司规划设计部, 四川 绵阳

收稿日期: 2026年6月16日; 录用日期: 2026年7月18日; 发布日期: 2026年8月10日

摘要

国土空间生态修复是优化国土空间开发保护格局、提升区域生态系统稳定性的重要途径。随着国土空间规划体系的不断完善,生态修复逐步由传统的生态环境治理工程向服务区域生态安全和国土空间治理的综合性行动转变。本文从生态修复理念演进出发,针对生态修复对象识别不精准、技术模式同质化、技术集成程度不足以及生态价值实现机制不完善等问题,提出生态安全意识嵌入下的“修复对象识别-技术模式适配-技术集成-监测评估-生态产品价值实现”分析框架,研究认为,生态安全意识嵌入有助于推动生态修复由局部工程治理向系统空间治理转变;通过生态源地、生态廊道、生态夹点、生态断裂点和高阻力区等关键空间单元识别,可实现修复对象精准定位;针对不同退化程度和空间功能需求,应构建自然恢复、辅助修复和生态重建相结合的技术模式体系;同时依托数字化监测评估和生态产品价值实现机制,推动生态修复成果向生态价值、经济价值和社会价值协同转化。研究认为,未来国土空间生态修复应强化多学科交叉融合,推动信息化、智能化技术与传统生态修复技术的深度结合,建立全生命周期监管体系,为相关领域的科研人员和工程实践者提供理论参考和实践指导。

关键词

国土空间, 生态修复, 工程技术模式, 价值实现, 智能化监测, 生态安全意识

Research on Technical Model Innovation and Value Realization Pathways of Territorial Ecological Restoration under the Guidance of Ecological Security

Meiwen Zhao

Planning and Design Department, Sichuan Qinchuang Territorial Spatial Planning and Design Co., Ltd.,
Mianyang Sichuan

文章引用: 赵美文. 生态安全导向下国土空间生态修复技术模式创新与价值实现路径研究[J]. 世界生态学, 2026, 15(3): 476-486. DOI: 10.12677/ije.2026.153052

Abstract

Ecological restoration of territorial space is an important approach to optimizing the development-protection pattern of territorial space and enhancing regional ecosystem stability. With the continuous improvement of the territorial spatial planning system, ecological restoration has gradually shifted from traditional ecological and environmental governance projects to comprehensive actions serving regional ecological security and territorial spatial governance. Starting from the evolution of ecological restoration concepts, this study addresses key challenges including inaccurate identification of restoration objects, homogenization of technical models, insufficient integration of technologies, and imperfect mechanisms for ecological value realization. An analytical framework of “restoration object identification-technical model adaptation-technology integration-monitoring and evaluation-ecological product value realization” is proposed under the embedding of ecological security awareness. The study suggests that embedding ecological security awareness can promote the transformation of ecological restoration from localized engineering interventions to systematic spatial governance. By identifying key spatial units such as ecological source areas, ecological corridors, ecological pinch points, ecological breakpoints, and high-resistance areas, restoration objects can be precisely located. For different levels of degradation and spatial functional requirements, a technical system combining natural restoration, assisted restoration, and ecological reconstruction should be established. Meanwhile, relying on digital monitoring, evaluation systems, and ecological product value realization mechanisms, ecological restoration outcomes can be transformed into coordinated ecological, economic, and social benefits. This study argues that future territorial ecological restoration should strengthen interdisciplinary integration, promote the deep coupling of informatization and intelligent technologies with traditional ecological restoration methods, and establish a full life-cycle supervision system, thereby providing theoretical references and practical guidance for researchers and practitioners in related fields.

Keywords

Territorial Space, Ecological Restoration, Engineering Technical Model, Value Realization, Intelligent Monitoring, Ecological Security Awareness

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生态修复是实现人与自然和谐共生的关键路径。随着我国发展，长期高强度的资源开发和不合理的土地利用导致生态系统退化、生物多样性下降、生态服务功能减弱等问题日益突出，对国土空间生态安全构成了严峻挑战[1]。

进入国土空间规划重构阶段后，生态修复已不再只是单项工程或部门治理任务，不仅是服务生态安全格局优化、国土空间用途管制和区域高质量发展的综合性空间治理行动，还应兼顾生态产品价值实现等多重目标。近年来，我国相继实施了山水林田湖草沙生态保护修复重大工程、长江经济带废弃露天矿山生态修复工程、黄河流域生态保护修复工程等一系列重大生态修复项目，取得了显著成效。然而，在实际工程实施过程中，仍然存在技术模式单一、区域适应性不足、工程措施与自然过程脱节、监测评估

体系不完善等突出问题，制约了生态修复工程的整体效益和可持续性[2]。因此，系统梳理国土空间生态修复的技术模式创新路径，研究适应不同地域条件的技术模式框架，对提升生态修复工程的科学性、精准性和实效性具有重要的理论价值和实践意义。

2. 国土空间生态修复理念转变与理论基础

2.1. 纸型从单一要素修复到系统治理的理念转变

生态修复理念的发展并非单纯表现为修复对象的逐一累加，而是治理认知、治理尺度与治理目标共同演进的过程，经历了由单一生态要素治理向生态系统整体修复再向国土空间系统治理不断深化的过程。

早期的生态修复更多围绕特定生态问题展开，主要特征为单一要素或单一问题的治理，如其修复对象主要集中于矿山损毁土地、水土流失区、退化林地以及受污染水体等单一生态要素，其治理目标以恢复受损生态因子和改善局部生态环境为主，具有明显的工程治理和要素治理特征[3]。随着生态学理论的发展以及生态环境问题复杂性的不断提升，生态修复逐步突破单一生态要素修复思维，进入多要素协同修复阶段，开始关注生态系统结构完整性、生态过程连续性以及生态服务功能恢复等问题，修复对象由局部生态斑块扩展至流域、区域等更大尺度空间单元[4]。

近年来，系统治理理念逐步成为国土空间生态修复研究与实践的重要基础，进一步推动生态修复由单项治理向整体保护、系统修复和综合治理转变[5][6]。生态修复强调不同生态要素之间的关系以及生态系统整体功能提升。生态修复对象开始与生态安全格局构建、生态保护红线管控及区域协调发展相衔接，形成面向国土空间治理的生态修复新范式[7][8]。也正是生态修复这一理念的不断深化推动了生态修复技术模式从单一技术向技术集成、从局部治理向系统修复的转变，为技术模式创新和价值转化提供了重要的理论支撑。

2.2. 从生态修复到生态安全意识嵌入

本文所称“生态安全意识嵌入”，是指在国土空间生态修复全过程中，将维护区域生态安全格局、保障生态系统稳定性和提升生态韧性作为核心导向，把生态源地保护、生态廊道连通、生态夹点修复、生态断裂点恢复和高生态阻力区治理等要求[9][10]，系统融入生态修复全过程和生态产品价值实现等环节之中。其本质并不是在传统生态修复目标之外简单增加“生态安全”表述，而是推动生态修复从局部损毁治理转向区域生态安全维护，从单一工程修复转向系统空间治理。具体而言，生态安全意识嵌入包括三个层面的理论内涵。

目标嵌入。生态修复目标不再局限于植被恢复、裸露地治理和水土流失控制等局部环境改善，而是进一步指向生态系统结构稳定、生态过程连续和区域生态安全格局优化。第二，空间嵌入。生态修复对象不再仅依据损毁程度或工程建设需求确定，而应结合生态源地、生态廊道、生态夹点、生态断裂点和生态阻力区等关键空间单元，识别对区域生态安全格局具有重要影响的修复对象。第三，过程嵌入。生态安全要求应贯穿修复方案设计、技术选择、工程实施、监测评估和后期管护全过程，形成闭环治理逻辑。

在技术框架中，生态安全意识嵌入强调从生态安全格局出发确定优先修复区域；强调依据生态功能定位、退化程度和生态系统恢复力选择修复模式；强调工程措施、生态措施和管理措施的协同组合；强调对生态连通性、生境质量、系统稳定性和生态服务功能的全过程跟踪；强调生态价值、经济价值和社会价值的协同转化，并以生态安全底线约束后续开发利用。因此，生态安全意识嵌入是连接生态安全理论与生态修复技术模式的中介机制。它既为修复对象识别提供空间判断依据，也为技术模式选择、工程措施集成和价值实现路径提供方向约束。通过这一机制，国土空间生态修复能够由“问题导向的工程治

理”转向“安全导向的系统治理”，实现“问题修补”到“安全维护”的思想演化，更好的维护区域生态安全格局的稳定性和国土空间开发保护格局的协调性。

2.3. 修复对象识别与技术模式适配理论

修复对象识别是国土空间生态修复实施的重要基础。不同生态单元在生态网络中的功能定位不同，其退化原因、修复目标和技术需求也存在明显差异。因此，生态修复需要建立以修复对象识别为基础的技术模式适配机制。从理论上讲，生态源地重点承担生态过程维持和生态功能供给作用；生态廊道主要保障物种迁移和能量流动；生态夹点和生态断裂点则是生态网络中的薄弱环节；高阻力区往往是生态安全格局中的关键约束区域。针对不同类型修复对象，应采用差异化技术模式，实现修复目标与空间功能需求的匹配[10]。

2.4. 生态环境恢复与生态价值转换理论

生态修复目标逐步由单纯恢复生态环境向提升生态系统综合价值转变。生态修复不仅承担改善生态环境质量的任务，同时也是提升生态系统服务功能、增强区域碳汇能力以及促进生态产品价值实现的重要途径[11][12]。

2.5. 生态系统恢复力与适应性管理理论

恢复力理论是指导生态修复技术模式创新的核心理论之一[13][14]。该理论认为，生态系统具有在受到干扰后恢复到原有状态或达到新的稳定状态的能力。在生态修复工程设计中，应充分考虑生态系统的恢复力特征，合理确定修复目标和修复路径，避免过度干预或干预不足。对于恢复力较强的轻度退化生态系统，应以自然恢复为主，减少人为干预；对于恢复力较弱的中重度退化生态系统，则需要采取积极的辅助修复或生态重建措施。

适应性管理理论强调在生态修复过程中应建立动态调整机制，根据监测评估结果及时调整修复策略和技术方案[15][16]。这一理论要求技术模式创新不能停留在静态的技术组合层面，而应建立“设计－实施－监测－反馈－调整”的闭环管理体系，实现技术模式的动态优化和持续改进。

2.6. 近自然修复与基于自然的解决方案

近自然修复理念主张在生态修复中尊重自然规律，模拟自然生态系统的结构和功能，采用接近自然过程的技术手段，实现生态系统的自我维持和良性循环。基于自然的解决方案(Nature-based Solutions, NBS)[17]是近年来国际生态修复领域的重要理念，强调利用自然生态系统的功能来应对社会挑战，在修复生态的同时提供多重生态服务。

这些理念的引入推动了生态修复技术模式的创新，促使工程措施与生态过程更加紧密地结合。例如，在河流湿地修复中，采用近自然河道设计、生态护岸等技术，既恢复了水文连通性，又提升了生物多样性；在矿山生态修复中，采用微地形集水保墒、乡土植物群落构建等技术，实现了地貌重塑与生态重建的有机统一。

3. 当前国土空间生态修复工程面临的关键技术挑战

3.1. 生态安全意识嵌入不足导致修复目标偏差

目前不少生态修复工程仍采用“问题发现－工程治理”的实施模式，将修复对象局限于矿山损毁、水土流失和生态退化地块等局部区域，而缺乏从区域生态安全格局角度识别关键生态单元的系统思维。其修复目标主要围绕植被恢复、地貌整治和环境改善展开，对生态安全格局维护作用关注不足。

3.2. 修复对象识别精度不足影响修复决策科学性

修复对象识别是生态修复工程实施的重要基础。科学识别修复对象不仅关系到修复工程布局合理性,也直接影响后续技术模式选择和工程实施效果。当前部分地区在修复对象确定过程中仍以土地利用现状调查和生态问题调查为主,对生态系统结构、生态过程以及生态安全格局缺乏系统分析。修复资源投入与生态安全需求之间缺乏有效匹配,影响修复工程整体效益。

3.3. 技术模式与地域条件适配性不足

我国幅员辽阔,地域差异显著,不同地区的生态本底条件、退化类型、气候特征和社会经济状况各不相同。然而,当前许多生态修复工程存在技术模式照搬套用的问题,缺乏对地域特殊性的深入分析。例如,在干旱半干旱地区,简单套用湿润地区的植被恢复技术,往往因水分条件不足而导致修复失败;在高寒高海拔地区,忽视低温、强辐射等特殊环境条件,植被成活率和保存率普遍偏低。

此外,不同生态系统类型的修复技术需求也存在差异。森林生态修复强调群落结构优化和生物多样性恢复;湿地生态修复关注水文过程恢复和水生生物栖息地重建;矿山生态修复则需要解决地质灾害隐患、土壤污染、地貌破坏等多重问题。当前技术模式的分类体系尚不够完善,针对特定地域和特定生态系统的技术集成方案相对缺乏。

3.4. 问题识别与监测评估技术有待提升

精准的调查诊断是科学制定修复方案的前提,全面的监测评估是检验修复成效的关键。当前,在生态修复基础调查方面,传统的地质调查方法难以满足生态系统整体调查的需求,地表-地下综合调查、区域-场地生态系统调查、生态影响与生态损毁调查等方法体系尚不成熟。在监测评估方面,缺乏统一的技术标准和评估指标体系,生态要素监测的信息采集、实时传输、远程监控技术应用不足,难以实现对修复过程的动态跟踪和修复成效的客观评价。

特别是在大规模生态修复工程中,如何运用遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)等技术手段,实现生态环境的实时监测预警、修复选址及设计优化,仍然是技术创新的重要方向。此外,生态修复场地三维地理场景构建、实时监测与预警响应、全息融合的技术方法也需要进一步研发。

3.5. 多技术协同与系统集成能力不足

国土空间生态修复涉及生态学、地理学、环境科学、工程学、信息科学等多个学科领域,需要多技术的协同运用和系统集成。然而,当前实践中存在技术碎片化、协同性不足的问题。物理修复、化学修复、生物修复等技术手段往往独立应用,缺乏有机融合;工程措施与生态措施的结合不够紧密,存在“工程化”倾向,忽视了生态系统的自然演替规律。

在技术创新层面,环境友好型的生态修复关键材料研发滞后,具有弱扰动的工程设计和施工技术不足,基于物理-化学-生物多技术集成的退化生态系统恢复与重建技术体系尚不完善。同时,生态修复与气候变化、人类活动耦合影响的机制研究薄弱,难以支撑适应未来环境变化的修复技术模式创新。

3.6. 长效管护与生态价值实现机制缺失

生态修复工程具有长期性和复杂性的特点,许多工程在竣工验收后缺乏有效的后期管护,导致修复成果退化甚至失效。当前,生态修复的长效管护机制、资金保障机制、生态产品价值实现机制尚不健全,影响了修复工程的可持续性[18]。

在技术层面,缺乏针对修复后生态系统演替规律的长期监测数据,对植被群落动态变化、土壤发育

过程、水文循环恢复等关键生态过程的跟踪研究不足。在管理层面，生态修复与后续产业开发的衔接不够紧密，“生态修复 + 产业融合”的模式创新有待深化，生态价值向经济价值转化的路径不够清晰。

4. 国土空间生态修复工程技术模式创新框架

4.1. 技术模式创新的总体思路

基于上述挑战分析，本文构建生态安全意识嵌入下的“修复对象识别 - 技术模式适配 - 技术集成 - 监测评估 - 生态产品价值实现”的技术模式创新分析框架，用于解释生态安全意识嵌入国土空间生态修复全过程的作用机制，需要说明的是，本文提出的五环节技术模式并非面向所有生态修复类型的统一技术模板，而是生态安全导向下国土空间生态修复的一般分析框架。不同修复场景在退化机理、生态功能定位和技术需求上存在差异，因而框架的具体应用必须进行场景化转化。基于此，本文选择矿山修复这一典型高生态阻力区治理场景作为重点展开，以检验和细化该框架的应用逻辑。

技术模式创新的核心逻辑是：首先通过系统调查诊断，识别修复对象、程度和成因；其次根据生态本底条件、修复目标和资源约束，选择适宜的修复模式(自然恢复、辅助修复、生态重建)；进而针对具体场地条件，集成优化各类技术手段，形成个性化的技术方案；最后通过全过程监测评估，反馈调整修复策略，确保修复目标的实现；最后生态产品价值评价则是生态修复效益提升的重要体现。各环节相互衔接，共同构成国土空间生态修复闭环体系。

4.2. 技术模式创新总体分析框架

4.2.1. 基于生态安全意识的修复对象识别

生态修复工程能否取得预期成效，很大程度上取决于修复对象识别的准确性。在生态安全格局视角下，生态修复对象主要包括生态源地、生态廊道、生态夹点、生态断裂点和高生态阻力区五类关键空间单元。生态源地是区域生态过程维持和生态服务供给的重要核心区域，通常包括自然保护区、重要湿地、大面积森林及高生态质量区域。生态廊道承担物种迁移、能量流动和生态过程传递功能，是保障生态网络连通性的重要通道。生态夹点是生态流动过程中相对狭窄且易受干扰的关键节点，其稳定性直接影响区域生态网络运行效率。生态断裂点主要指生态廊道被交通设施、建设用地或其他人为活动阻断形成的生态障碍区域。高生态阻力区则是生态过程运行过程中阻碍物种迁移和生态功能发挥的重要限制区域。

4.2.2. 生态修复模式适配

自然恢复模式适用于轻度退化、生态系统恢复力较强的区域。该模式的核心是消除或控制生态退化的干扰因素，依靠生态系统的自我调节能力实现自然演替和恢复。技术措施主要包括：移除破坏源、控制人为干扰、建立保护围栏、实施生态移民等。该模式成本较低，对生态环境的干扰最小，但修复周期较长，需要建立长期的封育保护机制。

在实践应用中，自然恢复模式已成功应用于三江源国家公园草原生态系统修复、黄石国家公园湿地生态系统修复等案例。研究表明，在消除过度放牧等干扰因素后，退化草原生态系统的植被覆盖度和物种多样性可在 5~10 年内得到显著恢复。

辅助修复模式适用于中度退化区域，在自然恢复的基础上，通过适度的人工干预加速生态系统恢复进程。技术措施包括：土壤改良(施用有机肥、土壤改良剂、微生物菌剂等)、水文调控(修建微型水利设施、实施生态补水)、植被辅助恢复(播种乡土草种、栽植先锋植物、建立种子库)、动物群落调控(引入关键种、重建食物链)等。

在实践应用中，在三峡水库消落带湿地修复中[19]，采用基于自然的解决方案，通过适生植物物种筛

选、近自然植物群落构建、多功能基塘修复、复合林泽修复等技术，实现了季节性水位变化条件下的湿地生态系统修复。

生态重建模式适用于重度退化或生态系统严重损毁的区域，需要采取全面的人工干预措施，重建生态系统的结构和功能。技术措施：地貌重塑(地形整治、采坑回填、边坡稳定)、土壤重构(客土覆盖、土壤基质改良、污染土壤修复)、植被重建(人工造林、群落构建、生物多样性恢复)、水文重建(水系连通、湿地再造、地下水修复)、景观重现(生态景观设计、文化景观融合)等。生态重建模式是技术集成度最高的修复模式，通常需要工程措施与生态措施紧密结合。具体识别对象与修复技术措施见表 1。

Table 1. Technical model adaptation system for restoration object identification under the guidance of ecological security
表 1. 生态安全导向识别对象的技术模式适配体系表

生态安全对象	主要生态安全问题	恢复力	优先技术模式	重点技术措施
生态源地	生境质量下降、生态功能退化、生态系统稳定性降低	高	自然恢复为主，辅助修复为辅	封育保护、乡土植物补植、生境优化、水文调节、群落结构调整
生态廊道	连通性不足、廊道破碎、生态流动受阻	中	辅助修复为主，局部生态重建	河流生态修复、生态缓冲带建设、绿道构建、植被恢复、廊道拓宽
生态夹点	生态流动空间狭窄、节点脆弱、受人为干扰强	中	辅助修复为主	生境质量提升、生态缓冲区建设、植被补植、干扰源控制
生态断裂点	交通设施、建设用地等造成生态阻隔，生态过程连续性中断	低	生态重建为主	生态桥梁、生态涵洞、廊道重构、阻隔设施改造、替代通道建设
高生态阻力区	矿山损毁、裸露地、污染地、严重退化土地阻碍生态过程运行	低	生态重建为主，辅助修复配合	地质灾害防治、地貌重塑、土壤重构、水土保持、植被恢复、污染治理

生态安全对象识别并不是简单划分修复区域，而是将不同空间单元在区域生态安全格局中的功能定位转化为差异化的技术模式选择。生态源地强调生态功能维持，应以自然恢复和低风险辅助修复为主；生态廊道和生态夹点强调连通性和稳定性，应通过辅助修复提升生态流动能力；生态断裂点和高生态阻力区则通常受人为干扰强、恢复力较弱，需要采取生态重建措施。其中，废弃矿山是高生态阻力区的典型类型，具有地貌破坏、土壤退化、水土流失和植被损毁等复合问题，因而可作为本文后续重点展开的应用场景。

4.2.3. 推动多技术集成与协同创新

技术模式创新的关键在于多技术的有机集成和协同增效。应建立物理 - 化学 - 生物多技术集成的技术体系，促进工程措施与生态措施的深度融合。在土壤修复领域，综合应用土壤生物自净、增施有机肥、深翻埋藏、废弃物资源化利用等技术，改善土壤肥力和结构；在水体修复领域，结合物理处理、化学处理和生物处理手段，控制面源污染，恢复水生态功能。

同时，应加强环境友好型生态修复材料的研发，如生物可降解材料、环境友好型土壤改良剂、生态混凝土等，降低修复工程对环境的二次扰动。推广具有弱扰动的工程设计和施工技术，如微创种植、无人机播种、生态护坡等，减少工程实施对周边生态系统的干扰。

4.2.4. 构建智能化监测与评估体系

信息化、智能化是技术模式创新的重要方向。应建立基于遥感 - 地理信息系统 - 全球定位系统(RS-GIS-GPS)技术的生态环境监测预警体系，实现大范围、多时相、高精度的生态动态监测。运用倾斜摄影实景三维建模技术与人工智能技术，建立生态修复场地三维地理场景，实现修复工程的全生命周期管理。

在评估体系方面，应建立重大生态修复工程生态、经济、社会效益综合评估的指标体系和方法，引入生态系统服务价值评估、碳汇计量评估等方法，客观评价修复成效。构建基于大数据的生态修复决策智能化管理平台，实现数据采集、分析、应用和监管的四位一体，提升生态修复管理的科学化、精细化水平。

4.2.5. 建立适应性管理与动态调整机制

技术模式创新不仅是技术方案的优化，更是管理模式的革新。应建立适应性管理机制，在修复工程实施过程中开展全过程监测，根据监测结果动态调整技术措施。例如，在植被恢复过程中，根据植物成活率、生长状况和群落演替趋势，及时调整物种配置和管护措施；在水文修复过程中，根据水位变化和水质监测结果，优化水文调控方案。建立修复成效跟踪评估的长效机制，在工程竣工后继续开展 3~5 年甚至更长时间的生态监测，掌握生态系统的演替规律，及时发现和解决修复成果退化问题。通过长期监测数据的积累，不断优化技术模式，形成可复制、可推广的最佳实践范例。

4.2.6. 生态产品价值实现路径

生态修复不仅是生态环境治理过程，也是生态价值创造过程。随着“双碳”战略深入推进，森林、湿地和草地等生态系统的碳汇功能不断增强，生态修复成果逐渐具备生态资产属性。未来应建立“生态修复-生态功能提升-碳汇增长-价值核算-生态产品实现”的价值转化链条，通过生态补偿、碳汇交易、生态旅游、林下经济以及自然教育等途径，推动生态修复成果向经济价值和社会价值转化，实现生态保护与绿色发展协同推进[20]。

5. 矿山修复重点场景下的技术模式适配与价值实现场景

矿山生态修复是国土空间生态修复中典型的高生态阻力区治理场景。与湿地、流域、森林等生态修复对象相比，矿山退化具有扰动强度高、地貌破坏显著、土壤基质贫瘠、植被自然恢复困难、地质灾害风险突出等特征，其生态问题往往不是单一生态要素退化，而是地形地貌、土壤、水文、植被和景观格局共同受损的复合型退化。因此，矿山修复不仅是局部损毁土地治理，更是降低区域生态阻力、恢复生态连通性和维护国土空间生态安全格局的重要环节。

5.1. 由矿山损毁地块识别转向生态安全关键单元识别

传统矿山修复通常以矿坑、边坡、排土场等受损区域作为修复对象，侧重局部生态环境治理。而生态安全导向下的矿山修复更加关注矿山在区域生态安全格局中的空间位置及其生态影响。首先，应识别矿山是否位于生态源地周边、重要生态廊道或生态夹点附近；其次，分析矿山开采是否造成生态断裂点形成，影响区域生态网络连通性；最后，通过生态阻力面分析确定矿山属于高生态阻力区的程度，明确修复优先等级。基于上述分析，可将矿山修复对象由单纯的工程治理对象扩展为生态安全格局中的关键治理单元，实现修复对象由“损毁地块”向“生态安全关键节点”转变。

5.2. 基于生态安全意识下的矿山修复模式

矿山生态修复应依据生态系统恢复力和受损程度选择适宜的修复模式。对于轻度扰动区域，应充分发挥生态系统自我恢复能力，以自然恢复为主，通过封山育林、封育管护和减少人为干扰促进自然演替。对于中度退化区域，可采用辅助修复模式，通过边坡稳定、土壤改良、乡土植物补植、水文调控等措施，提高生态系统恢复速度。对于重度损毁矿山，应采用生态重建模式，系统实施地貌重塑、采坑回填、边坡治理、土壤重构、植被重建及生态景观塑造，恢复生态系统结构与功能。因此，矿山修复并非固定采用某一种修复方式，而是依据恢复力等级形成“自然恢复-辅助修复-生态重建”梯度适配体系。

5.3. 多类型治理技术与生态措施的协同融合

矿山生态修复具有复合性和系统性特征,因此,技术集成的重点不应停留在某一单项技术的应用,而应围绕矿山生态系统结构恢复和生态过程重建,统筹工程治理、土壤修复、水文调控、植被恢复、污染治理和后期管护等多类技术措施。应融合地质安全治理技术、土壤修复与基质改良技术、水土保持与水文调控技术、植被恢复与生境重建技术等,对于存在崩塌、滑坡、泥石流等隐患的矿山区域,需要通过边坡稳定、危岩清理、削坡减载、支挡加固和排水疏导等措施降低地质灾害风险,针对采坑、平台、排土场和陡立边坡等不同损毁单元,应结合原有地形条件、汇水路径和生态景观格局,开展地形整理、坡面修整、采坑治理、微地形塑造和生态空间重构,为植被恢复、水土保持和生态功能恢复创造适宜空间条件。对于矿山区域普遍存在表土缺失、土壤贫瘠、结构破坏和养分不足等问题,应根据土壤退化程度采取客土覆盖、表土回覆、有机质添加、土壤改良剂施用、微生物修复和污染土壤治理等措施,提高土壤保水保肥能力和植物生长支撑能力;对于坡面侵蚀强烈、径流冲刷明显的矿区,应通过截排水系统建设、生态护坡、坡面覆盖、雨洪调蓄、径流路径优化和小型蓄排水设施配置等措施,控制水土流失,优先选择乡土植物、先锋植物和抗逆性较强的物种,构建乔灌木结合、多层次配置的植物群落,并结合生境营造、生物多样性保护和后期抚育管护,维持修复后生态系统的过程稳定,推动矿山生态系统由人工干预恢复逐步转向自然演替。

5.4. 监测评估与生态产品价值实现

矿山生态修复应建立覆盖工程建设和后期管护全过程的动态监测评估体系。监测内容包括植被覆盖度、生物多样性、土壤理化性质、水土流失控制效果、地质灾害稳定性及生态连通性恢复程度等指标,并结合遥感、GIS 及无人机巡查开展长期动态监测,根据监测结果及时调整修复方案,形成“实施-监测-反馈-优化”的适应性管理机制。在价值实现方面,应推动矿山修复由生态治理向生态价值创造转变。结合区域资源禀赋,可发展生态旅游、矿山公园、自然教育、生态农业、碳汇开发及工业遗产保护等多元利用模式,构建“生态修复-生态功能提升-生态产品供给-价值实现”的发展路径,实现生态效益、经济效益和社会效益协同提升。

5.5. 矿山修复对国土空间生态修复技术模式的启示

矿山生态修复作为高生态阻力区治理的典型实践,验证了生态安全意识嵌入下技术模式创新框架的适用性。一方面,生态安全对象识别能够提高修复对象确定的科学性;另一方面,恢复力导向的技术模式适配增强了修复措施的针对性,多技术集成和全过程监测保障了修复质量,生态产品价值实现进一步提升了生态修复的可持续性。需要指出的是,矿山修复只是国土空间生态修复的重要应用场景之一。本文提出的“修复对象识别-技术模式适配-技术集成-监测评估-生态产品价值实现”技术模式,可为流域、湿地、城市等不同类型生态修复提供分析思路,但具体技术体系仍需结合不同修复对象的生态功能、退化机理和空间特征进行场景化调整。

5.6. 高生态阻力区修复场景

以山东淄博废弃矿山生态修复为代表,这类区域生态系统结构受损严重,自然恢复能力较弱,属于高生态阻力区修复场景,通常需要采用生态重建模式。针对山东淄博废弃矿山植被破坏和水土流失严重、地质灾害风险隐患突出等问题,创新性地采用了地灾防治、地貌重构、水土保持、土壤重构、植被恢复“五位一体”的工程技术措施,形成了遵循山水林田湖草系统共治的系统性工程技术模式。该模式通过削坡减载消除地质灾害隐患,通过地形整治重塑微地貌,通过修建截排水系统控制水土流失,通过客土覆盖和土

壤改良重构土壤层,通过乔灌木搭配恢复植被群落,实现了矿山生态系统的整体修复和功能提升[21]。

6. 生态安全意识嵌入下生态修复技术模式优化建议

6.1. 深化生态安全理念, 强化生态安全对象识别与场景转化

未来技术模式创新应进一步深化生态安全理念,将其转化为具体可操作的生态修复理论与方法。在技术研发中,更加注重生态系统各要素之间的耦合关系和协同效应,探索水文过程-土壤发育-植被演替-动物群落之间的相互作用机制,建立多要素协同修复的技术体系。避免将统一框架简单套用于所有修复类型。不同生态修复场景在退化机理、生态功能定位和技术需求方面存在明显差异,应在总体框架指导下进行场景化转化。例如,矿山修复重点关注高生态阻力区治理和地貌-土壤-植被系统重建;流域修复重点关注水文连通、水质改善和岸线生态化;城市生态修复则更强调生态空间连通、蓝绿网络构建和人居环境改善。只有将生态安全对象识别与具体场景结合,才能提高修复决策的科学性和针对性。同时,应加强生态修复与国土空间总体规划、详细规划及专项规划的衔接,推动生态修复与生态保护红线管控、自然保护区体系建设以及区域协调发展战略协同实施,形成生态保护与空间治理一体化格局。

6.2. 英文缩写推动跨学科融合与技术创新

生态修复技术模式创新需要生态学、地质学、地理学、环境科学、工程学、信息科学、经济学等多学科的交叉融合。建立跨学科、跨专业的协同创新机制,打破传统学科壁垒,实现知识和技术的交叉融合。重点加强以下领域的技术创新:高通量 DNA 测序和功能基因分析技术在修复效果评估中的应用;人工智能和大数据技术在修复方案优化和动态监测中的应用;新材料、新能源技术在绿色修复工程中的应用。

6.3. 完善技术模式的标准化与规范化

当前,生态修复技术模式的标准化程度较低,影响了技术推广和工程质量。应加快制定和完善生态修复技术规程、质量标准、验收规范等,建立覆盖调查诊断、方案设计、工程施工、监测评估、后期管护全过程的技术标准体系。同时,建立生态修复技术模式库和案例库,总结不同地域、不同类型生态系统的最佳技术模式,为各地生态修复实践提供参考。

6.4. 建立价值转化与长效管护机制

技术模式创新的落地实施需要资金保障和机制支持。应完善政府主导、企业参与、社会资本融入的多元化投入机制,探索生态产品价值实现路径,通过生态旅游、碳汇交易、生态补偿等方式,实现生态修复的经济可持续性。建立“谁修复、谁受益”的长效管护机制,明确修复后的管护责任主体,确保修复成果的持久稳定。

6.5. 推动“双碳”目标融入生态修复全过程

在碳达峰、碳中和战略背景下,生态修复已成为提升生态系统碳汇能力的重要途径。森林、湿地、草地等生态系统既是区域生态安全的重要基础,也是陆地生态碳汇的重要组成部分。未来应加强生态修复与“双碳”目标协同推进,将碳汇提升纳入生态修复规划和工程设计全过程,建立生态修复碳汇监测与核算体系。通过退化林地恢复、湿地生态修复、矿山植被重建以及生态廊道建设等措施,提高区域碳储量和固碳能力,实现生态安全提升与气候变化应对协同增效。

7. 结论

国土空间生态修复工程技术模式创新是提升生态修复工程科学性、实效性和可持续性的关键路径。

本文基于生态安全理念和理论基础,构建了生态安全意识嵌入下的“修复对象识别-技术模式适配-技术集成-监测评估-生态产品价值实现”的技术创新模式,系统阐述了自然恢复、辅助修复、生态重建三种基本模式及生态安全识别下的对象机制适配。研究表明,技术模式创新应坚持因地制宜、分类施策的原则,针对不同对象和生态系统类型,集成优化工程措施、生物措施和管理措施,形成个性化的技术方案。未来,应进一步深化理论研究,推动跨学科融合,加强智能化技术应用,完善标准体系和保障机制,推动国土空间生态修复技术模式向更加科学、精准、高效的方向发展,为建设美丽中国和实现人与自然和谐共生提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 徐强. 基于生态安全格局的“生态管控+整治适宜性”全域土地整治[J]. 资源节约与环保, 2025(10): 95-98.
- [2] 迟妍妍, 王夏晖, 宝明涛, 等. 重大工程引领的黄河流域生态环境一体化治理战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 104-112.
- [3] 刘威尔, 宇振荣. 山水林田湖生命共同体生态保护和修复[J]. 国土资源情报, 2016(10): 37-39+15.
- [4] 陈竹安, 傅伯杰, 徐佩, 等. 国土空间生态修复布局研究进展[J]. 地理科学进展, 2021, 40(11): 1925-1937.
- [5] 张杨, 王夏晖, 饶胜, 等. 山水林田湖草生命共同体的科学认知、路径及制度体系保障[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 26-39.
- [6] 成金华, 尤喆. “山水林田湖草是生命共同体”原则的科学内涵与实践路径[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(2): 1-6.
- [7] 自然资源部国土空间生态修复司. 山水林田湖草生态保护修复工程指南[M]. 北京: 中国自然资源出版社, 2020.
- [8] 全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)[EB/OL]. 2020-06-03. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202006/t20200611_1231112_ext.html, 2026-06-04.
- [9] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 吴健生. 区域生态安全格局构建研究进展与展望[J]. 地理研究, 2017, 36(3): 407-419.
- [10] 方莹, 王静, 黄隆杨, 翟天林. 基于生态安全格局的国土空间生态保护修复关键区域诊断与识别——以烟台市为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 190-203.
- [11] 欧阳志云, 郑华. 生态产品价值实现与生态系统生产总值核算研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(19): 6853-6862.
- [12] 王效科, 欧阳志云, 任玉芬, 等. 中国森林生态系统碳汇功能及其价值评估研究[J]. 生态学报, 2015, 35(23): 7606-7616.
- [13] Holling, C.S. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- [14] 毛龙, 汪胜兰, 邱晓峰, 等. 生态系统恢复力理论在甘肃省国土空间生态修复规划编制中的应用[J]. 地学前缘, 2023, 30(4): 504-513.
- [15] Holling, C.S. (1978) Adaptive Environmental Assessment and Management. Wiley.
- [16] 傅伯杰, 吕一河, 陈利顶. 生态系统管理与适应性管理研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1613-1619.
- [17] Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (2016) Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges. International Union for Conservation of Nature (IUCN).
- [18] 周妍, 苏香燕, 张丽佳, 等. 新时代中国国土空间生态修复理念与工作框架[J]. 生态学报, 2021, 41(21): 8692-8702.
- [19] 袁兴中. 三峡库区澎溪河消落带生态系统修复实践探索[J]. 长江科学院院报, 2022, 39(1): 1-9.
- [20] 2030年前碳达峰行动方案[EB/OL]. 2021-10-24. https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm, 2026-06-04.
- [21] 位蓓蕾. 矿山生态修复工程“五位一体”技术模式研究——以淄博九顶山为例[J]. 环境生态学, 2024, 6(11): 68-75.